

Ισοσταθμίζοντας οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις

Επιμέλεια: Κυριάκος Καμπάνης

Οξειδοαναγωγικές είναι οι αντιδράσεις εκείνες στις οποίες γίνεται μεταφορά ηλεκτρονίων μεταξύ δύο χημικών ουσιών έτσι ώστε μία από αυτές να οξειδώνεται και η άλλη να ανάγεται. Ισοστάθμιση είναι η διαδικασία που εφαρμόζεται προκειμένου μια χημική εξίσωση που παριστάνει μία οξειδοαναγωγική αντίδραση να είναι γραμμένη με τέτοιο τρόπο ώστε να ισχύει η αρχή διατήρησης ατόμων και ηλεκτρικών φορτίων.

Η μέθοδος που περιγράφεται παρακάτω είναι αυτή των ημιαντιδράσεων στην οποία η οξειδοαναγωγική αντίδραση διαχωρίζεται σε δυο ημιαντιδράσεις, μία οξείδωση και μία αναγωγή. Οι δύο ημιαντιδράσεις ισοσταθμίζονται, αρχικά ως προς την μάζα, στη συνέχεια ως προς το φορτίο, και τελικά προστίθενται (πολλαπλασιασμένες με τους κατάλληλους συντελεστές ώστε να εξαλειφθούν τα ηλεκτρόνια) για να προκύψει η τελική ολοκληρωμένη εξίσωση.

Η μέθοδος ¹ περιγράφεται μέσω τριών παραδειγμάτων.

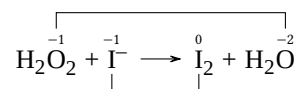
Παράδειγμα 1. Ισοστάθμιση της οξειδοαναγωγικής αντίδρασης



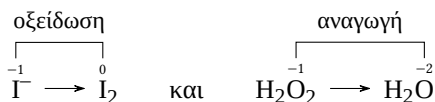
σε όξινο περιβάλλον.

Προκειμένου να γίνει διαχωρισμός της παραπάνω αντίδρασης σε δύο ημιαντιδράσεις, θα πρέπει να εξεταστούν οι αριθμοί οξείδωσης των ουσιών (ατόμων και ιόντων που συμμετέχουν) για να διαπιστωθεί ποια από αυτά οξειδώνονται και ποια ανάγονται.

Η εξέταση οδηγεί τελικά στο ακόλουθο σχήμα:



και οι δύο ημιαντιδράσεις είναι:

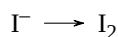


Κατασκευάζεται ο ακόλουθος πίνακας για την ημιαντίδραση οξείδωσης:

Πίνακας 1: Μεταβολή αριθμών οξείδωσης στην ημιαντίδραση $\text{I}^- \longrightarrow \text{I}_2$

	I^-	I_2	$ \Delta(\text{Αρ.Οξ}) $ ανά άτομο	Σύνολο e^-
Αρ.Οξ(I)	-1	0	1	2

Η ημιαντίδραση οξείδωσης:



δεν είναι ισοσταθμισμένη ως προς την μάζα (άτομα I) και θα πρέπει να προστεθεί ο συντελεστής 2 μπροστά από το ιόν I^- :



Στην αντίδραση θα πρέπει να εμφανίζονται και τα ηλεκτρόνια που μεταφέρονται, και αφού είναι μια αντίδραση οξείδωσης τα ηλεκτρόνια θα πρέπει να εμφανιστούν στο 2ο μέλος. Κάθε άτομο Ιωδίου υφίσταται μεταβολή του αριθμού οξείδωσης κατά μία μονάδα (από -1 στο ιόν σε 0 στο I_2), άρα συνολικά μεταφέρονται δύο ηλεκτρόνια σε συμφωνία με τον Πίνακα 1.



Τώρα η ημιαντίδραση της οξείδωσης είναι πλήρως ισοσταθμισμένη.

¹Η χρήση των πινάκων στην μεθοδολογία είναι προαιρετική, είναι όμως βοηθητική στην ισοστάθμιση των ημιαντιδράσεων και στην εξαγωγή της συνολικής εξίσωσης

Για την ημιαντίδραση αναγωγής κατασκευάζεται ο αντίστοιχος πίνακας:

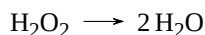
Πίνακας 2: Μεταβολή αριθμών οξειδωσης στην ημιαντίδραση $\text{H}_2\text{O}_2 \longrightarrow \text{H}_2\text{O}$

	H_2O_2	H_2O	$ \Delta(\text{Αρ.Οξ}) $ ανά άτομο	Σύνολο e^-
Αρ.Οξ(O)	-1	-2	1	2

Στην ημιαντίδραση αναγωγής:



αρχικά προστίθεται ο συντελεστής 2 μπροστά από το μόριο του νερού για να ισοσταθμιστούν τα άτομα O:



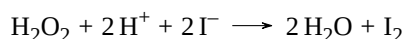
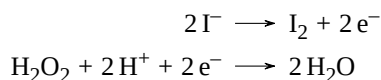
Για να ισοσταθμιστούν και τα άτομα H θα πρέπει να προστεθούν δύο στο πρώτο μέλος. Δεδομένου ότι η αντίδραση πραγματοποιείται σε όξινο περιβάλλον θα πρέπει τα υδρογόνα αυτά να είναι στην μορφή ιόντων H^+ :



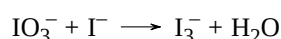
Για να είναι η παραπάνω εξίσωση ισοσταθμισμένη και ως προς το φορτίο, θα πρέπει στο πρώτο μέλος να προστεθούν δύο αρνητικά φορτία (δύο ηλεκτρόνια) ώστε το συνολικό φορτίο να είναι 0, όσο δηλαδή και στο δεύτερο μέλος. Η προσθήκη των 2 ηλεκτρονίων στο πρώτο μέλος δικαιολογείται αφού είναι μια αναγωγή στην οποία δύο άτομα O ανάγονται από -1 σε -2: και βρίσκεται σε συμφωνία με τον Πίνακα 2:



Στο τελικό στάδιο προστίθενται οι δύο ημιαντιδράσεις 1 και 2 ώστε να προκύψει η συνολική οξειδοαναγωγική εξίσωση:

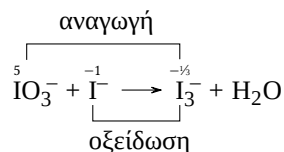


Παράδειγμα 2. Ισοστάθμιση της οξειδοαναγωγικής αντίδρασης



σε όξινο περιβάλλον.

Η εξέταση των αριθμών οξειδωσης των ουσιών που συμμετέχουν, οδηγεί στο παρακάτω σχήμα:



βάσει του οποίου μπορεί να γίνει διαχωρισμός σε δύο ημιαντιδράσεις:



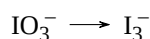
Οι παραπάνω ημιαντιδράσεις θα πρέπει να ισοσταθμισθούν ως προς την μάζα και το φορτίο και στην συνέχεια (αφού εξαλειφθούν τα ηλεκτρόνια) θα πρέπει να προστεθούν ώστε να προκύψει η συνολική οξειδοαναγωγική εξίσωση.

Στον Πίνακα 3 που ακολουθεί φαίνεται η μεταβολή των αριθμών οξειδωσης που λαμβάνουν χώρα κατά την ημιαντίδραση αναγωγής.

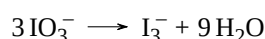
Πίνακας 3: Μεταβολή αριθμών οξειδωσης στην ημιαντίδραση $\text{IO}_3^- \longrightarrow \text{I}_3^-$

	IO_3^-	I^-	$ \Delta(\text{Αρ.Οξ}) $ ανά άτομο	Σύνολο e^-
Αρ.Οξ(I)	5	$-\frac{1}{3}$	16/3	16

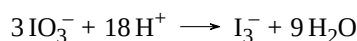
Από τα δεδομένα του Πίνακα 3 μπορεί να γίνει ισοστάθμιση της ημιαντίδρασης αναγωγής:



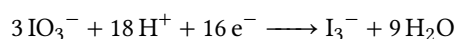
Αρχικά εισάγεται ο συντελεστής 3 μπροστά από το IO_3^- για να ισοσταθμιστούν τά άτομα ιωδίου και επίσης εισάγονται και 9 μόρια H_2O στο δεύτερο μέλος για να ισοσταθμιστούν τα άτομα O:



Στο πρώτο μέλος εισάγονται επίσης 18 H^+ για να ισοσταθμιστούν τα H. Η εισαγωγή ιόντων H^+ αιτιολογείται από το γεγονός ότι η αντίδραση λαμβάνει χώρα σε όξινο περιβάλλον:



Η παραπάνω ημιαντίδραση είναι ισοσταθμισμένη ως προς τη μάζα αλλά όχι ως προς τα φορτία. Για να γίνει ισοστάθμιση χρειάζονται 16 αρνητικά φορτία στο πρώτο μέλος, γεγονός που είναι σε απόλυτη συμφωνία με τα δεδομένα του Πίνακα 3:

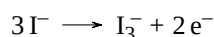


Ο αντίστοιχος πίνακας για την ημιαντίδραση της οξειδωσης φαίνεται παρακάτω:

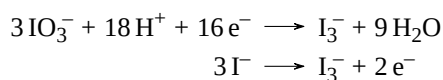
Πίνακας 4: Μεταβολή αριθμών οξειδωσης στην ημιαντίδραση $\text{I}^- \longrightarrow \text{I}_3^-$

	I^-	I_3^-	$ \Delta(\text{Αρ.Οξ}) $ ανά άτομο	Σύνολο e^-
Αρ.Οξ(I)	-1	$-\frac{1}{3}$	$\frac{2}{3}$	2

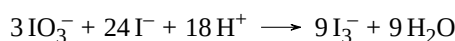
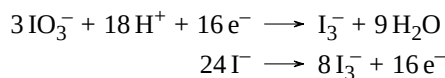
και με βάση τα δεδομένα του, γίνεται ισοστάθμιση της ημιαντίδρασης. Αρχικά προστίθεται ο συντελεστής 3 μπροστά από το I^- για την ισοστάθμιση των I και στη συνέχεια γίνεται ισοστάθμιση των φορτίων με βάση τον Πίνακα 4:



Αφού τελικά ισοσταθμίστηκαν οι δύο ημιαντιδράσεις ακολουθεί το τελευταίο στάδιο της διαδικασίας, δηλαδή η πρόσθεση των δύο για να προκύψει η συνολική εξίσωση οξειδοαναγωγής. Θα πρέπει όμως, πριν την πρόσθεση, οι δύο ημιαντιδράσεις να πολλαπλασιαστούν με κατάλληλους συντελεστές έτσι ώστε τα ηλεκτρόνια να εξαιρεθούν και να μην εμφανίζονται στην συνολική εξίσωση:



Για να εξαλειφθούν τα ηλεκτρόνια και από τις δύο ημιαντιδράσεις, θα πρέπει η δεύτερη (οξειδωση) να πολλαπλασιαστεί επί 8 και μετά την τελική άθροιση προκύπτει η τελική οξειδοαναγωγική εξίσωση:

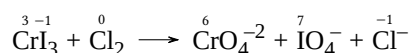


Παράδειγμα 3. Ισοστάθμιση της αντίδρασης:

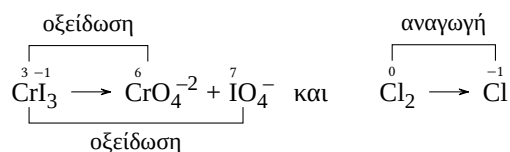


σε βασικό περιβάλλον.

Η διαδικασία που ακολουθείται είναι ίδια με αυτή των δύο προηγούμενων περιπτώσεων. Η εξέταση των αριθμών οξειδωσης των ουσιών που συμμετέχουν οδηγεί στο παρακάτω σχήμα:



από το οποίο προκύπτουν οι ημιαντιδράσεις:



Κατασκευάζεται ο ακόλουθος πίνακας για την ημιαντίδραση οξειδωσης:

Πίνακας 5: Μεταβολή αριθμών οξειδωσης στην ημιαντίδραση $\text{CrI}_3 \longrightarrow \text{CrO}_4^{2-} + \text{IO}_4^-$

	CrI_3	CrO_4^{2-}	IO_4^-	$ \Delta(\text{Αρ.Οξ}) $ ανά άτομο	Σύνολο e^-
Αρ.Οξ(Cr)	3	6		3	3
Αρ.Οξ(I)	-1		7	8	24

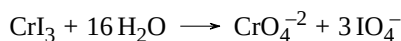
με την βοήθεια του οποίου μπορεί να γίνει η ισοστάθμιση της ημιαντίδρασης οξειδωσης



Αρχικά προστίθεται ο συντελεστής 3 μπροστά από το IO_4^- για την ισοστάθμιση των ιωδίων:



ενώ στη συνέχεια προστίθενται 16 μόρια H_2O στο πρώτο μέλος για να ισοσταθμιστούν τα άτομα οξυγόνου:



Όπως φαίνεται, χρειάζεται να προστεθούν 32 άτομα H στο δεύτερο μέλος για να επιτευχθεί ισοστάθμιση της μάζας, τα οποία προστίθενται με την μορφή ιόντων H^+ :



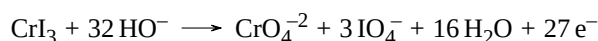
Επειδή όμως η αντίδραση πραγματοποιείται σε βασικό περιβάλλον, θα πρέπει να εμφανίζονται ιόντα OH^- και όχι H^+ . Το τέχνασμα που γίνεται σε παρόμοιες περιπτώσεις είναι ότι προστίθενται και στα δύο μέλη ισάριθμα ιόντα OH^- ώστε να μην εμφανίζονται τα H^+ :



Τελικά, αφού τα ιόντα H^+ και HO^- του δεύτερου μέλους μετατραπούν σε 32 μόρια H_2O η εξίσωση που προκύπτει είναι η:



Η παραπάνω ημιαντίδραση είναι ισοσταθμισμένη ως προς τη μάζα αλλά όχι ως προς τα φορτία. Προκειμένου να ισοσταθμιστεί πρέπει να εισαχθούν και τα ηλεκτρόνια που παίρνουν μέρος, τα οποία όπως φαίνεται στον Πίνακα 5 είναι 27. Αυτά θα τοποθετηθούν στο 2ο μέλος αφού πρόκειται για αντίδραση οξειδωσης!

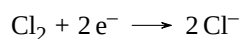


Η ημιαντίδραση οξείδωσης είναι τώρα ισοσταθμισμένη. Η ίδια μεθοδολογία ακολουθείται και για την αντίδραση αναγωγής και αρχικά κατασκευάζεται ο αντίστοιχος πίνακας:

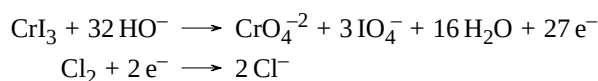
Πίνακας 6: Μεταβολή αριθμών οξείδωσης στην ημιαντίδραση $\text{Cl}_2 \longrightarrow \text{Cl}^-$

	Cl_2	Cl^-	$ \Delta(\text{Αρ.Οξ}) $ ανά άτομο	Σύνολο e^-
Αρ.Οξ(Cl)	0	-1	1	2

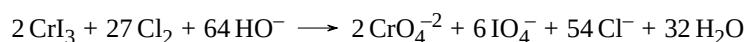
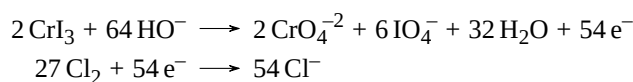
Η αντίδραση αναγωγής μπορεί να γραφεί ως:



η οποία είναι ισοσταθμισμένη και σε απόλυτη συμφωνία με τον Πίνακα 6. Το τελικό στάδιο περιλαμβάνει την άθροιση των ημιαντιδράσεων ώστε να προκύψει η συνολική εξίσωση:



Για να γίνει εξάλειψη των ηλεκτρονίων από τις παραπάνω ημιαντιδράσεις θα πρέπει η πρώτη να πολλαπλασιαστεί επί 2 και η δεύτερη επί 27:



Αναφορές

- Mahan, B.H. (1979) *University Chemistry*. Addison-Wesley
- *Oxidation-Reduction Equations*. Retrieved November 1, 2023 from https://chemed.chem.purdue.edu/genchem/topicreview/bp/ch19/oxred_2.php
- *Balancing Redox Reactions*. (n.d). LibreTexts Chemistry. Retrieved November 1, 2023, from [https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Analytical_Chemistry/Supplemental_Modules_\(Analytical_Chemistry\)/Electrochemistry/Redox_Chemistry/Balancing_Redox_reactions](https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Analytical_Chemistry/Supplemental_Modules_(Analytical_Chemistry)/Electrochemistry/Redox_Chemistry/Balancing_Redox_reactions)